

杨桃对土壤重金属元素的吸收与富集

陈 燕¹，谢正生^{2,3}，郑小林¹，王文翠¹

(1 湛江师范学院生命科学与技术学院，广东 湛江 524048；2 华南农业大学林学院，
广东 广州 510642；3 华南农业大学经济林研究中心，广东 广州 510642)

摘要：通过对廉江市杨桃 (*Averrhoa carambola*) 绿色食品基地不同土质、不同树龄的土壤样品及果实样品重金属元素 Cd、Hg、Cu、Pb、As、Cr 含量的检测，分析杨桃果实对土壤重金属元素的吸收与富集作用。结果表明：① 果园土壤 pH≤5.50，为酸性土壤，杨桃果园土壤和鲜果中的重金属含量均符合我国水果绿色食品生产的质量要求；② 杨桃对土壤重金属的吸收因土壤质地和重金属元素的种类不同而异；③ 杨桃对重金属元素的富集，以 Cd 元素为最强，富集系数高达 0.947，各种重金属的富集系数按大小排序为：Cd (0.947) > Hg (0.098) > Cu (0.023) > Pb (0.003) > As (0.001) = Cr (0.001)。

关键词：杨桃；土壤；果实；重金属；含量；富集系数

中图分类号：Q 948.11 文献标识码：A 文章编号：0253-2700 (2009) 04-369-05

Effects of Carambola (*Averrhoa carambola*) Plantation
on Heavy Metal Content in Soil and Heavy
Mental Accumulation in Fruits

CHEN Yan¹，XIE Zheng-Sheng^{2,3**}，ZHENG Xiao-Lin¹，WANG Wen-Cui¹

(1 School of Life Science and Technology, Zhanjiang Normal University, Zhanjiang, 524048, China; 2 College of Forestry,
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3 Center for Non-timber Forest Research,
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The soil heavy metal element absorption and enrichment of Carambola (*Averrhoa carambola*) were analied through the heavy metal elements content such as Cd, Pb, Cu, Hg, As, Cr of different types, different soil samples and different age trees of carambola in lianjiang green food base were investigated . The results showed that ① the soil pH≤5.50 which is acid soils and the heavy metal content of carambola orchard soil and fresh fruits were in conformity with the quality requirements of the production of green food; ② Heavy metal absorption carambola in the soil were different with the the different heavy metal element and different kinds; ③ The enrichment of Cd was the most than other elements of heavy metals and the concentration coefficient was 0.947 . According to the sequence as enrichment coefficients, the order was Cd (0.947) > Hg (0.098) > Cu (0.023) > Pb (0.003) > As (0.001) = Cr (0.001) .

Key words: Carambola (*Averrhoa carambola*); Soil; Fresh fruits; Heavy metal; Concentration coefficient

果园土壤中的重金属元素累积到一定程度，
不仅会破坏果园土壤环境，影响果树的生长发
育，而且可以通过食物链对人体健康造成危害。

因此，果园土壤及果品中的重金属含量是绿色食
品生产过程中要求监测的一项重要指标。目前，
杨桃 (*Averrhoa carambola* L.) 的研究多见于引种

基金项目：广东省林业局资助项目 (2003-05DB)
通讯作者：Author for correspondence; E-mail: zsxie@scau.edu.cn
收稿日期：2009-02-19，2009-05-27 接受发表
作者简介：陈燕 (1962-) 女，副教授，主要从事植物学教学与研究。E-mail: yanch211@163.com

栽培 (林维生, 2003; 陈燕等, 2003) 和果实保鲜 (张浩等, 2005) 等方面, 而杨桃吸收、积累重金属的相关研究至今未见报道。本文通过检测廉江市河唇镇杨桃绿色食品果园土壤及果实的重金属含量, 探讨杨桃对土壤重金属的吸收与富集作用, 旨在为杨桃绿色食品生产基地的经营管理和重金属的污染控制提供科学依据。

1 材料与方 法

供试材料采自广东省廉江市河唇镇杨桃生产基地, 种植品种为红杨桃, 即马来西亚 B₁₇ 杨桃。该基地远离公路, 十公里范围内没有工业污染源, 环境质量良好。土壤样品采集根据生产基地的土壤类型及分布情况, 设置砂壤土 (S₁) 和红壤土 (S₂) 两个样地, 分 4 年生果园和 6 年生果园分别采集样品, 同时采集未种植杨桃的荒坡地土壤样品作对照。用多点混合采样法采集土壤样品, 即在一定面积 (约 0.5 hm²) 中选 5 个点的土壤形成 1 个土壤混合样 (陈玉娟等, 2005), 采土深度为 0~40 cm。果实样品采集点与土壤采样点相同, 分东南西北四个方向随机选择成熟的杨桃 20 个。将果实用自来水清洗, 再用去离子水冲洗后自然风干, 用不锈钢刀取果实纵横剖面各一片果肉作为样品, 放入恒温烘箱 100℃ 杀青 15 分钟, 然后在 60~65℃ 下恒温烘干, 再在瓷研钵中研细后置于已灭菌的玻璃瓶中保存。

土壤和果实样品的重金属元素含量的分析检测, 镉 (Cd)、铅 (Pb)、铜 (Cu)、铬 (Cr) 用原子吸收分光光度法, 汞 (Hg)、砷 (As) 用原子荧光光度法 (黄昀等, 2005), 土壤 pH 值用电极法。

重金属在生物体内的富集能力采用富集系数表示 (郭水良等, 2002)。

2 结果与分 析

2.1 杨桃基地土壤的 pH 值

土壤 pH 值对植物吸收、积累重金属有很大的影响 (Sauve 等, 1998), 大多数重金属元素在酸性环境中活动性增加, 当 pH < 5.5 时, Cd、Mn、Cu、Zn、Co、Ni 可以被作物较好地吸收 (程金沐, 2005)。杨桃基地不同树龄的果园土壤 pH 值测定结果见表 1。

从表 1 可知, 基地土壤 pH≤5.50, 为酸性土壤。与对照地 (荒坡地) 比较, 4 年生和 6 年生园土的 pH 值均呈下降趋势。果园土壤的酸化, 可能会影响土壤中重金属的存在形态 (Sauve 等, 1998), 进而影响杨桃对重金属的吸收与富集。

2.2 杨桃基地的土壤重金属含量现状

2 个样地 6 个样点的土壤重金属含量检测结果列于表 2。

表 1 不同种植年限果园土壤 pH 值的变化
Table 1 pH changes in soil after plantation of Carambola

土壤类型 Type of soil	对照土 control	4 年生园土 4 year garden soil after plantation	6 年生园土 6 year garden soil after plantation
sandy loam soil (S ₁)	4.04	3.75	3.76
red loam soil (S ₂)	5.50	4.45	4.15

表 2 杨桃果园土壤重金属含量 (单位: mg kg⁻¹)
Table 2 Contents of heavy metals in soil after plantation of Carambola (unite: mg kg⁻¹)

重金属 Heavy metal	土壤类型 Type of soil	对照土 Control soil	4 年生园土 4 year garden soil after plantation	6 年生园土 6 year garden soil after plantation	绿色食品标准* Standard index of green-food permission
Cd	S ₁	0.023	0.020	0.014	0.30
	S ₂	0.028	0.026	0.017	
Pb	S ₁	5.20	25.50	11.65	50
	S ₂	4.85	5.40	7.90	
Hg	S ₁	0.042	0.057	0.057	0.25
	S ₂	0.082	0.071	0.060	
As	S ₁	6.10	12.15	6.05	25
	S ₂	8.95	7.15	6.85	
Cu	S ₁	6.65	5.85	23.80	50
	S ₂	8.55	8.10	28.95	
Cr	S ₁	87.3	75.7	95.5	120
	S ₂	33.9	32.2	57.9	

* 注: 根据 NY T391-2000 (朱中平和朱晨曦, 2002) Note: according to NY T 391 - 2000 (Zhu and Zhu, 2002)

从表 2 看出，各样点的土壤 Cd、Hg、As、Pb、Cr、Cu 含量均低于中国绿色食品环境质量标准。说明杨桃生产过程中土壤重金属污染不明显，未出现污染超标现象，符合绿色食品生产管理要求。相对而言，砂壤土（S₁）中的 Cr 含量较高，对照土、4 年生园土和 6 年生园土的 Cr 含量分别达到标准值的 71.3%、63.1% 和 79.6%。生产过程应加强土壤 Cr 元素的监测，预防污染超标。

与对照土比较，果园土中的 Cd 含量略有下降，Pb 含量稍有增加，而 Hg、Cu、As、Cr 的含量变化没有明显的规律性。

2.3 杨桃对重金属元素的吸收与富集

Cu、Cr 是人体必需元素，只有过量才会对人体产生毒害作用；而 Pb、Cd、Hg、As 是对人体有害的元素，含量很低时就会产生毒性危害人体健康。

表 3 的检测结果表明，各样点杨桃（果实）的重金属元素含量符合我国水果元素限量标准，属安全生产。果实对土壤重金属的吸收滞留量因土质和重金属元素的种类不同而异，其中 Cu、As、Cr 和 Pb 的吸收量极小，平均含量分别只占水果限量标准值的 3.9%、10.0%、11.6% 和

18.0%；Hg、Cd 含量相对较高，平均含量达标准值的 60%。值得注意的是，砂壤土 6 年生杨桃的 Cd 含量达到标准值的 86.7%，存在 Cd 污染的威胁。

杨桃（果实）对 6 种重金属的富集系数表现为（表 4）：Cd 的富集系数最高，达 0.947；其次是 Hg，为 0.098；Cu、Pb、As、Cr 的富集系数较小，在 0.001~0.023 之间。各种重金属的富集系数按大小顺序排列为：Cd > Hg > Cu > Pb > As > Cr。检测结果说明杨桃果实对土壤 Cd 的吸收迁移能力极强，对 Hg 的吸收能力较弱，而对 Cu、Pb、As、Cr 的吸收迁移能力则极微。

3 讨论

果园土壤的 pH 明显低于对照土（表 1），说明种植杨桃可使土壤酸化加剧，这可能与大量施用化学肥料有一定关系。杨桃是木本果树，一年可多次开花结果，为了达到高产、稳产，种植过程施用氯化钾、复合肥、过磷酸钙等生理酸性肥料较多，当 N、P、K 等主要营养元素被吸收后，在土壤中残留下酸根离子，促进了土壤的酸化作用。园土酸化后，重金属元素的活动性增加，Cd、

表 3 杨桃果实重金属含量（单位：mg kg⁻¹）

Table 3 Contents of heavy metals in Carambola (unite: mg kg⁻¹)

土壤类型（树龄） Type of soil (age of tree)	镉 Cd	铅 Pb	汞 Hg	砷 As	铜 Cu	铬 Cr
S ₁ (4 years)	0.017	0.045	0.005	0.004	0.383	0.063
S ₁ (6 years)	0.026	0.090	0.006	0.007	0.406	0.060
S ₂ (4years)	0.021	0.004	0.007	0.004	0.309	0.061
S ₂ (6years)	0.008	0.003	0.005	0.006	0.445	0.049
平均值 Average	0.018	0.036	0.006	0.005	0.386	0.058
我国水果元素限量标准 Standard index of permission	≤0.03	≤0.2	≤0.01	≤0.5	≤10	≤0.5

表 4 杨桃果实对土壤重金属的富集系数

Table 4 Accumulation coefficient of heavy metals in fruits

	镉 Cd	铅 Pb	汞 Hg	砷 As	铜 Cu	铬 Cr
土壤重金属含量 Heavy mental content in soil (mg kg ⁻¹)	0.019	12.613	0.061	8.050	16.675	62.275
果实重金属含量 Heavy mental content in fruit (mg kg ⁻¹)	0.018	0.036	0.006	0.005	0.386	0.058
富集系数 Accumulation coefficient	0.947	0.003	0.098	0.001	0.023	0.001

注：取各样点土壤和果实重金属含量的平均值计算富集系数

note: Calculation of accumulation coefficient according to the average value of soil and fruit metal content of every sample point

Cu 等重金属元素容易被吸收迁移进树体 (程金沐, 2005)。

根据杨桃生产基地现状分析, 某些样点的土壤重金属外源污染可能是施肥、喷药等农业管理措施所致。研究表明, 各种化肥和有机肥均含有重金属 (Raven and Loeppert, 1997; Modaihsh and Sewailem, 1999; 王起超和麻壮伟, 2004; 刘荣乐等, 2005), 一般过磷酸盐中含有较多的 Hg、Cd、As、Zn、Pb, 磷肥次之; 氮肥中 Pb 含量较高, As 和 Cd 污染严重 (王焕校, 2000); 不同来源的有机废弃物中重金属含量差异很大, 猪粪的 Zn、Cu、Cd、As 平均含量高于其他有机废弃物, 而鸡粪中 Cr 的平均含量较高 (刘荣乐等, 2005)。施肥对土壤重金属的影响较复杂, 一方面, 肥料中所含的重金属可随施肥被带入土壤, 直接提高土壤的重金属含量; 另一方面, 施肥还可能通过影响土壤 pH 值、温度、氧化还原电位状况、离子强度等, 从而影响土壤对重金属的吸附和解吸 (李波等, 2000)。国内外许多试验 (同延安等, 1995; 曾希柏等, 2007a; Lid and Giuffre, 1997; Taylor, 1997) 表明, 通过施肥可提高土壤的重金属含量。Besnard and Chenu (2001) 等认为, 施用含 Cu、As、Hg、Cd、Pb 等重金属的杀菌剂和杀虫剂也可能导致果园土壤重金属污染。此外, 农用薄膜生产应用的热稳定剂中往往含有 Cd 和 Pb, 果实套袋大量使用塑料薄膜, 如果不及时清除残留在土壤中的薄膜, 亦可能会使其中的重金属进入土壤并形成累积 (曾希柏等, 2007b)。

杨桃基地土壤的 Cd 含量很低, 只有 $0.014 \sim 0.028 \text{ mg kg}^{-1}$, 是绿色食品标准值 (0.3 mg kg^{-1}) 的 4.7%~9.3%; 但杨桃果实的 Cd 含量为 $0.008 \sim 0.026 \text{ mg kg}^{-1}$, 达水果元素限量标准 (0.03 mg kg^{-1}) 的 26.7%~86.7%。杨桃对 Cd 的吸收富集能力远大于其他重金属元素, 其富集机理及影响因素尚不清楚。有研究表明, Cd 在一些蔬菜 (蔡立梅等, 2008; 许中坚等, 2008)、杂草 (郭水良等, 2002) 和作物 (仲维功等, 2006) 中的富集能力强于其它重金属, 但也有研究证实一些水生植物 (黄永杰等, 2006) 和豆类 (张竹青和谭德军, 2008) 对 Cd 的吸收富集能力较弱; 祖艳群等 (2003) 认为蔬菜可食部分与土壤中 Cd 含量之间没有显著的相关性, 且 Cd 在植

物体内的迁移能力大于 Cu (张连忠, 2004)。同时, 大量的研究报道指出, 土壤介质 pH 值 (Kitagishi 等, 1981; 程金沐, 2005)、施用的肥料种类及形态 (Tsadilas 等, 2005; 李波等, 2000; Zhao 等, 2003; 张连忠等, 2004)、不同物种与品种 (吴启堂等, 1994; 李德明等, 2004) 等因素均可影响 Cd 的吸收与富集。因此, 杨桃果实富集 Cd 元素是由土壤环境引起, 还是由栽培管理措施导致, 或者由品种或体内迁移所造成, 有待进一步的深入探索研究。

4 结论

① 廉江市河唇镇杨桃果园土壤和果实中的重金属含量均符合我国水果绿色食品生产的质量要求;

② 杨桃对重金属的吸收滞留量因土壤质地和重金属元素的种类不同而异;

③ 杨桃果实对重金属元素的富集能力, 以 Cd 元素为最强, 富集系数高达 0.947, 各种重金属的富集系数按大小排序为: Cd (0.947) > Hg (0.098) > Cu (0.023) > Pb (0.003) > As (0.001) = Cr (0.001)。

致谢 农业部食品质量监督检验测试中心 (湛江) 测定土壤样品和果实样品中重金属含量。

参考文献

- 王焕校, 2000. 污染生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 188—213
- 朱中平, 朱晨曦, 2002. 绿色食品实用手册 [M]. 北京: 中国物资出版社, 11—12
- 陈燕, 冯伯生, 胡木林, 2003. 绿色食品红杨桃高产栽培技术 [J]. 柑桔与亚热带果树信息, 19 (7): 30—31
- 张浩, 曾祥有, 钟声等, 2005. 红杨桃保鲜试验初报 [J]. 广西热带农业, (5): 16—17
- Besnard E, Chenu C, 2001, RoberMt l. Influence of organic a-mendments on copperdistribution among particle-size and density fractions in Champagne vineyard soils [J]. *Envi-ronmental Pollution*, 112: 329—337
- Chen YJ (陈玉娟), Wen YM (温琰茂), Chai SW (柴世伟), 2005. The heavy metal contentcharacter of agricultural soil in the Pearl River Delta [J]. *Research of Environmental Sciences* (环境科学研究), 18 (3): 75—77
- Cheng JM (程金沐), 2005. The effect of soil environment on the content of Microelements in Crops [J]. *Guangdong Trace Elements Science*

- (广东微量元素科学), 12 (6): 12—15
- Cai LM (蔡立梅), Ma J (马瑾), Zhou YZ (周永章) *et al.*, 2008 . Heavy metal concentrations of agricultural soils and vegetables from Dongguan, Guangdong Province, China [J] . *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 63 (9): 994—1003
- Guo SL (郭水良), Huang CB (黄朝表), Blan Y (边媛) *et al.*, 2002 . On absorption and accumulation of six heavy metal elements of weeds in Jinhua suburb . I Survey on content of six heavy metal elements in weeds and soil [J] . *Journal of Shanghai Jiaotong University* (Agricultural Science) (上海交通大学学报 (农业科学版)), 20 (1): 22—29
- Huang Y (黄昀), Li DG (李道高), Liu GD (刘光德) *et al.*, 2005 . Researching of characters of citrus accumulation heavy metal to soil in the Three Gorges Reservoir Region [J] . *Environmental Monitoring in China* (中国环境监测), 21 (1): 12—15
- Huang YG (黄永杰), Liu DY (刘登义), Wang YB (王友保) *et al.*, 2006 . Heavy metals accumulation by hydrophytes [J] . *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 25 (5): 541—545
- Kitagishi K, Yamane I, 1981 . Heavy metal pollution in soils of Japan [J] . *Japan Science Society Press*, 302—312
- Lid IA, Giuffre DE, 1997 . Eavy metals input with phosphate fertilizers used in Argentina [J] . *Science of the Total Environment*, 204 (3): 245—250
- Li B (李波), Qing CL (青长乐), Zhou ZB (周正宾) *et al.*, 2000 . Effects of nitrogen, phosphorus and organic matter on heavy metal behavior in soils and its application of controlling pollution [J] . *Agro-environmental Protection* (农业环境保护), 19 (6): 375—377
- Lin WS (林维生), 2003 . The biological characteristics and cultivation technology of soft bromch Carambola [J] . *Economic Forest Researches* (经济林研究), 21 (3): 62—63
- Li DM (李德明), Zhu ZJ (朱祝军), Qian QQ (钱琼秋), 2004 . Investigation of genotypic difference of cadmium contents in shoots of *Brassica campestris* ssp. *chinensis* [J] . *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 31 (1): 97—98
- Liu RL (刘荣乐), Li ST (李书田), Wang XB (王秀斌) *et al.*, 2005 . Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes [J] . *Journal of Agro-Environment Science* (农业环境科学学报), 24 (2): 392—397
- Modaihsh AS, Sewailem MS, 1999 . Heavy metal contents of commercial inorganic fertilizers marked in the Kingdom of Saudi Arabia [J] . *Proceedings of The Fourth International Conference on Precision Agriculture*, 1745—1754
- Raven KP, Loeppert RH, 1997 . Trace element composition of fertilizers and soil amendments [J] . *Journal of Environmental Quality*, 26: 551—557
- Sauve S, McBride M, Hendershot W, 1998 . Soil solution speciation of lead (II): Effects of organic matter and pH [J] . *Soil Science Society of America Journal*, 62: 618—621
- Tong YA (同延安), Gao Z (高宗), Liu XL (刘杏兰) *et al.*, 1995 . Effects of organic manure and chemical hemical fertilizer on balance of microelements in Lou Soli [J] . *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 32 (3): 315—319
- Taylor MD, 1997 . Accumulation of cadmium derived from fertilizers in New Zealand soil [J] . *Science of the Total Environment*, 208 (1 2): 123—126
- Tsadilas CD, Karaivazoglou NA, Tsotsolis NC *et al.*, 2005 . Cadmiu uptake by tobacco as affected by liming, N form, and year of cultivation [J] . *Environmental Pollution*, 134: 239—246
- Wu QT (吴启堂), Wang GS (王广寿), Tan XF (谭秀芳) *et al.*, 1994 . Effect of crop cultivars and chemical fertilizers on the cadmium accumulation in Plants [J] . *Journal of South China Agricultural University* (华南农业大学学报), 15 (4): 1—6
- Wang QC (王起超), Ma ZW (麻壮伟), 2004 . Heavy metals in chemical fertilizer and environmental risks [J] . *Rural Eco-Environment* (农村生态环境), 20 (2): 62—64
- Xu ZJ (许中坚), Qiu XY (邱喜阳), Feng T (冯涛) *et al.*, 2008 . Uptake of heavy metals by vegetables and estimation of guidelines for health risk to heavy metals in vegetable plantation soil in Acid Rain Area [J] . *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 22 (4): 179—184
- Zeng XB (曾希柏), Li LF (李莲芳), Mei XR (梅旭荣), 2007a . Heavy metal content in soils of Vegetable-growing lands in China and Source Analysis [J] . *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 40 (11): 2507—2517
- Zeng XB (曾希柏), Li LF (李莲芳), Bai LY (白玲玉) *et al.*, 2007b . Arsenic accumulation in different agricultural soils in Shouguang of Shandong Province [J] . *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 18 (2): 310—316
- Zhang LZ (张连忠), Lu KG (路克国), Wang HW (王宏伟) *et al.*, 2004 . Heavy metal (Cd & Cu) distribution in apple plant and effect of Bio-fertilizer in reducing absorption of Heavy Meta [J] . *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 28 (3): 123—129
- Zhang ZG (张竹青), Tan DJ (谭德军), 2008 . Effects of french bean, soybean and mung bean on Super-accumulation of Heavy Metals [J] . *Guizhou Agricultural Sciences* (贵州农业科学), 36 (6): 81—83
- Zhao ZQ, Zhu YG, Li HY *et al.*, 2003 . Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) [J] . *Environment International*, 29: 973—978
- Zhong WG (仲维功), Yang J (杨杰), Chen ZD (陈志德) *et al.*, 2006 . Differences in accumulation and distribution of Pb, Cd, Hg and As in rice cultivars and their organs (*Oryza sativa* L.) [J] . *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences* (江苏农业学报), 22 (4): 331—338
- Zu YQ (祖艳群), LI Y (李元), Chen HY (陈海燕) *et al.*, 2003 . Concentration and evaluation on pollution of Pd, Cd, Cu and Zn in vegetable farm soil and vegetable of Kunming [J] . *Yunnan Environmental Science* (云南环境科学), 22 (S): 55—57